

УДК 553.311

МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ПОЛУЧЕНИЮ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА НА СТОЙЛЕНСКОМ ГОКЕ

**Т. А. Чикишева^{1,2,3}, К. К. Емельянова¹, С. А. Прокопьев^{1,2},
Е. С. Прокопьев^{1,2}, Н. Ю. Турецкая¹, И. А. Калинин¹, С. А. Напольских⁴**

¹ ООО НПК «Спирит», Иркутск, Россия

² Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

³ Иркутский государственный университет, Россия

⁴ АО «Стойленский ГОК», Старый Оскол, Россия

Представлены результаты минералогических исследований продуктов обогащения Стойленского ГОКа после проведения технологических испытаний по получению высококачественного железорудного концентрата методом винтовой сепарации. Приведены краткие данные о геологическом строении месторождения, типах железистых кварцитов и вещественном составе рудных зон. При изучении продуктов обогащения методами оптической микроскопии установлены их минеральный состав, типы сростков рудных минералов и характер распределения магнетита и гематита по классам крупности. В результате испытаний получен кондиционный высококачественный магнетит-гематитовый концентрат с массовой долей железа общего 69,96 %.

К л ю ч е в ы е с л о в а: минералого-технологическая оценка железных руд; железистые кварциты; высококачественный железорудный концентрат; магнетит-гематитовый концентрат; винтовая сепарация.

T. A. Chikisheva, K. K. Emelyanova, S. A. Prokopiev, E. S. Prokopiev, N. Yu. Turetskaya, I. A. Kalinkin, S. A. Napolskikh. MINERALOGICAL SUPPORT TO THE PROCESS OF OBTAINING HIGH-GRADE IRON ORE CONCENTRATE AT STOILENSKY PROCESSING PLANT

The article reports the results of mineralogical studies of the Stoilensky processing plant products taken during in-process tests of the spiral separation method for obtaining high-grade iron ore concentrate. The geological structure of the deposit, types of ferruginous quartzite, and the material composition of ore strata are briefly described. The study of the concentration products by optical microscopy revealed their mineral composition, types of ore mineral intergrowth, and the size distribution patterns of magnetite and hematite. As a result of the tests, high-quality specification-grade magnetite-hematite concentrate with a total iron mass fraction of 69.96 % was obtained.

Key words: mineralogical and technological evaluation of iron ores; ferruginous quartzites; high-grade iron ore concentrate; magnetite-hematite concentrate; spiral separation.

Введение

Вовлечение в переработку железорудного сырья с совместным присутствием в нем магнетита и гематита на сегодняшний день является актуальной задачей для железнорудной промышленности, решение которой позволит повысить комплексность и безотходность переработки железных руд. Технологически это представляет собой проблему, так как основная масса рудных минералов может сосредотачиваться в тонких классах, иметь сложные тонкие прорастания, и кроме того, наряду с магнетитом и гематитом железо содержится в силикатных и карбонатных минералах, которые разубоживают товарную продукцию. Поскольку методы химического анализа не дают полного представления о вещественном составе железорудного сырья, для его детальной и объективной оценки необходимо использовать методы технологической минералогии, которые позволяют получить точное представление о формах нахождения железа, характеристиках минералов – концентратов железа и типах их сростаний. Кроме того, минералогическое-технологическое исследование позволяет спрогнозировать распределение минеральных фаз по продуктам обогащения, а оперативная оценка поможет скорректировать режимы рудоподготовки и обогащения, что подтверждается многочисленными исследованиями ведущих специалистов в области технологической минералогии [Целюк и др., 2013; Пирогов, Ожогина, 2020]. Таким образом, главная цель настоящей работы – показать важность применения минералогических методов исследования на всех этапах технологических работ.

Для усовершенствования технологического процесса ООО НПК «Спирит» (г. Иркутск) проведены испытания по применению винтовой сепарации (ВС) в технологической схеме предприятия Стойленского ГОКа. Основные задачи испытаний: выявление возможности увеличения производительности обогатительной фабрики (ОФ), повышение комплексности переработки руды и общего содержания железа в концентрате ОФ за счет попутного извлечения гематита. Извлечение гематита наряду с магнетитом – это дополнительная продукция, полученная из уже подготовленного сырья, причем в себестоимости данной части товарной продукции не будет затрат на добычные работы, дробление и измельчение руды. Наряду с вышеуказанным, требования к качеству железорудных концентратов растут: на мировом рынке пользуются спросом концентраты с массовой долей железа 69–70 %, поскольку высокое ка-

чество концентратов позволяет значительно сократить затраты при металлургическом переделе [Прокопьев, 2019; Прокопьев и др., 2021].

Материалы и методы

Технологические работы выполнялись на железорудном сырье Стойленского месторождения. Исходным материалом для проведения испытаний являлись продукты обогащения Стойленского ГОКа, а именно пробы сливов мельницы и спиральных классификаторов I стадии классификации. Изучение вещественного состава проб проводилось методами химического и минералогического анализов на материале двух технологических проб железистых кварцитов, измельченных до крупности менее 10 мм в пробе слива мельницы и менее 2 мм в сливе спирального классификатора. Определение содержания общего железа было выполнено методом спектрофотометрии при помощи комплекса GENESYS 10 S Thermo Fisher Scientific (ИЗК СО РАН). Минералогические исследования выполнены в минералогическом отделе ООО НПК «Спирит» в соответствии с нормативно-методическими документами Научного совета по минералогическим методам исследований (НСОММИ): № 162 «Оптико-минералогический анализ шлиховых и дробленых проб», № 194 «Минераграфическое изучение руд» и № 181 «Виды и последовательность минералогических исследований при сопровождении технологических работ. Железные руды» [Виды..., 2014; Минераграфическое..., 2018].

Краткая геологическая характеристика месторождения

Стойленское месторождение железных руд располагается в юго-восточной части Лебединского рудного поля Курской магнитной аномалии в 7 км к юго-западу от станции Старый Оскол. Полоса магнитных аномалий Стойленского месторождения выявлена геофизическими работами в 1919–1926 гг. Запасы утверждены ГКЗ СССР в 1958 г. в количестве 136,8 млн т по категориям В+С₁ и 16,2 млн т по категории С₂. Отработка богатых руд начата в 1969 г. карьерным способом и продолжается по настоящее время. Разработку месторождения ведет АО «Стойленский ГОК», основная продукция комбината: железорудный концентрат, железная агломерационная руда и железорудные окатыши. Сырье Стойленского месторождения представляет собой богатые руды коры выветривания и неокисленные железистые кварциты, которые обогащаются методом мокрой магнитной сепарации (ММС).

В геологическом строении месторождения участвуют сильно дислоцированные породы докембрия и трансгрессивно перекрывающие их осадочные породы палеозойской, мезозойской и кайнозойской эратем (мощность варьируется от 50 до 200 м), представленные в верхней части разреза суглинками, песками, глинами, песчаниками, а ниже – мергелями, мелом, песчано-глинистыми и глинисто-известковыми отложениями. На породах докембрия повсеместно развита площадная кора выветривания мощностью от 5 до 80 м, представленная богатыми железными рудами (остаточными), переходящими с глубиной в окисленные и полукисленные железистые кварциты. В северной части месторождения закартированы интрузии диоритов и габбро-диоритов, в юго-восточной – интрузии плагиогранитов. Широкое развитие имеют межпластовые и секущие дайки, а также жилы ультраосновных пород, диорит-порфиритов и гранитов мощностью от 50 см до 10–20 м. Породы докембрия смяты в сложные многопорядковые складки, вплоть до плейчатости. Неокисленные железистые кварциты в зависимости от минерального состава подразделяются на 4 типа:

магнетитовые, силикатно-магнетитовые, железнослюдково-магнетитовые и слабрудные (в виде пропластков мощностью не более 10 м). В магнетитовых кварцитах основными породообразующими минералами являются кварц и магнетит. Силикатно-магнетитовые кварциты содержат, кроме того, силикатные минералы – куммингтонит, актинолит, тремолит, рибекит, биотит, иногда эгирин и тальк. В железнослюдково-магнетитовых кварцитах присутствуют собственно железная слюдка (гематит) в количестве 5–10, реже 18–20 % и карбонаты – доломит, анкерит, кальцит [Железорудная..., 2007].

Результаты и обсуждение

Макроскопическое исследование материала пробы слива мельницы, классифицированного по крупности и подвергнутого магнитному фракционированию, показало, что магнитная фракция в нем представлена обломками пород серого цвета преимущественно кварцевого состава с рассеянными включениями рудных и породообразующих минералов – магнетита, гематита и сульфидов (рис. 1, Г), пироксенов

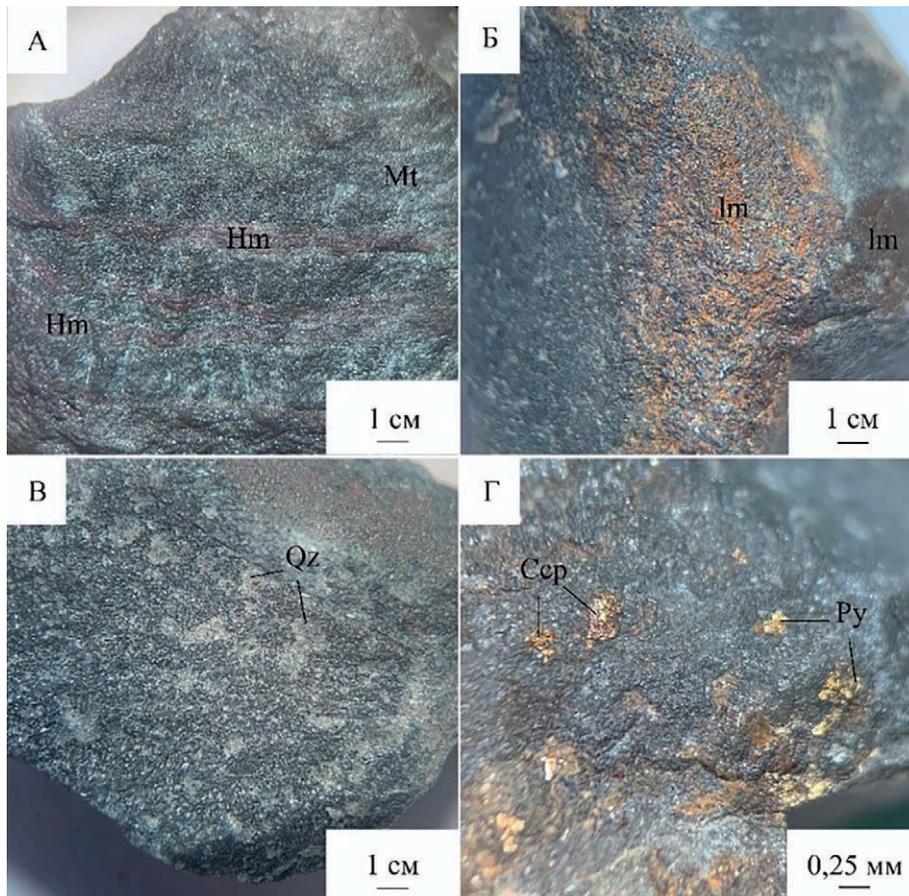


Рис. 1. Образцы железистых кварцитов Стойленского месторождения
 Fig. 1. Samples of ferruginous quartzites from the Stoilensky deposit

и амфиболов. В обломках пород отчетливо прослеживается полосчатая текстура, выраженная чередованием прослоев кварца, магнетита и гематита (рис. 1, А). Мощность прослоев рудных минералов в среднем 0,1–0,5 мм, иногда достигает 3 мм. Размер выделений рудных минералов колеблется от 0,1 до 0,5 мм. По поверхности обломков развиты пленки гидроксидов железа (рис. 1, Б) и встречаются гнездовые выделения кварца (рис. 1, В).

В результате микроскопического исследования шлифов установлено, что изучаемая порода представляет собой железистый кварцит с гомеобластовой структурой и полосчатой текстурой. Полосчатая текстура в изучаемых образцах выражена чередованием темных (представлены рудными минералами) и светлых (представленных нерудными минералами) слоев. Рудные слои имеют магнетитовый и гематитовый составы, нерудные – кварцевый, карбонатный и хлорит-биотитовый. Также отмечаются слои смешанного типа. Нерудные слои представлены мозаичным кварцем и имеют значительное количество включений рудных минералов. По параметрам мощности рудные слои относятся к тонкослоистому (0,1–3 мм) и микрослоистому (0,05–0,1 мм) типам [Грицай и др., 1974].

В результате минераграфических исследований установлено, что рудные минералы железа представлены магнетитом и гематитом.

Магнетит визуализируется в виде прожилков и неравномерной вкрапленности в тесной ассоциации с гематитом, кварцем и кар-

бонатами. Зерна магнетита имеют неправильную форму. Мощность прожилков колеблется от 0,05 до 3 мм (преобладающий размер от 0,1 до 0,2 мм), размеры вкраплений – от 0,002 до 0,1 мм (в среднем от 0,01 до 0,05 мм).

Гематит наблюдается в виде прожилков и неравномерной вкрапленности, имеет неправильную форму зерен. Мощность прожилков колеблется от 0,05 до 0,3 мм (преобладающий размер от 0,1 до 0,15 мм), размеры вкраплений – от 0,002 до 0,1 мм (в среднем от 0,03 до 0,05 мм). Прожилки магнетита и гематита показаны на рис. 2, выделения магнетита и гематита в межзерновом пространстве кварца – на рис. 3.

Ввиду того что магнетит является сильным ферромагнетиком ($\chi = (20000-93000) \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$) и обладает ярко выраженными магнитными свойствами, а гематит, также относящийся к группе минералов-ферромагнетиков, обладает значительно более низкой магнитной восприимчивостью ($\chi = (50-300) \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$) [Технологические..., 2005], чем у магнетита, комплексное извлечение данных минералов магнитными методами не представляется возможным, в связи с чем в настоящее время гематит уходит в хвосты обогащения.

Для улучшения показателей обогащения технологической схемы, основанной на использовании магнитной сепарации в качестве основного метода обогащения (выделение концентрата по магнитной восприимчивости минералов), логично добавить в процесс разделение с использованием гравитационных свойств

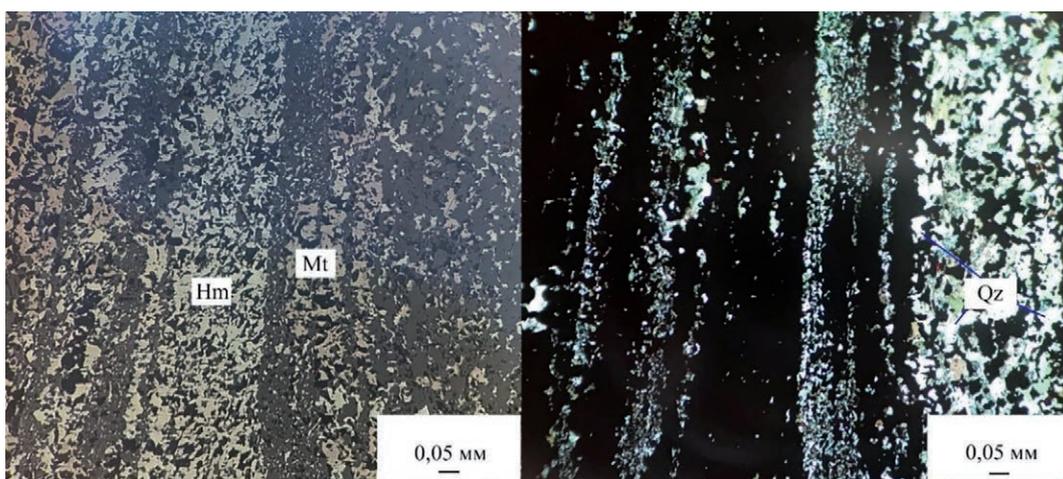


Рис. 2. Микрофотография прожилков магнетита и гематита.

Здесь и на рис. 3 – комбинированный шлиф: А – отраженный свет, николи ||; Б – проходящий свет, николи ||

Fig. 2. Micrograph of magnetite and hematite veins

Here and in Fig. 3 – combined thin section: А – reflected light, Nicol ||; В – transmitted light, Nicol ||

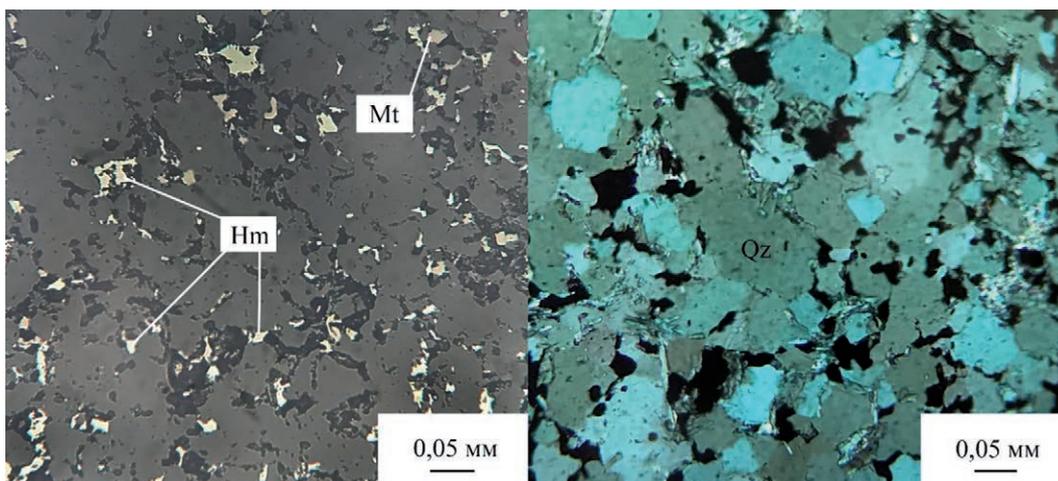


Рис. 3. Микрофотография вкрапленности магнетита и гематита в породе
 Fig. 3. Micrograph of the magnetite and hematite grains in the rock

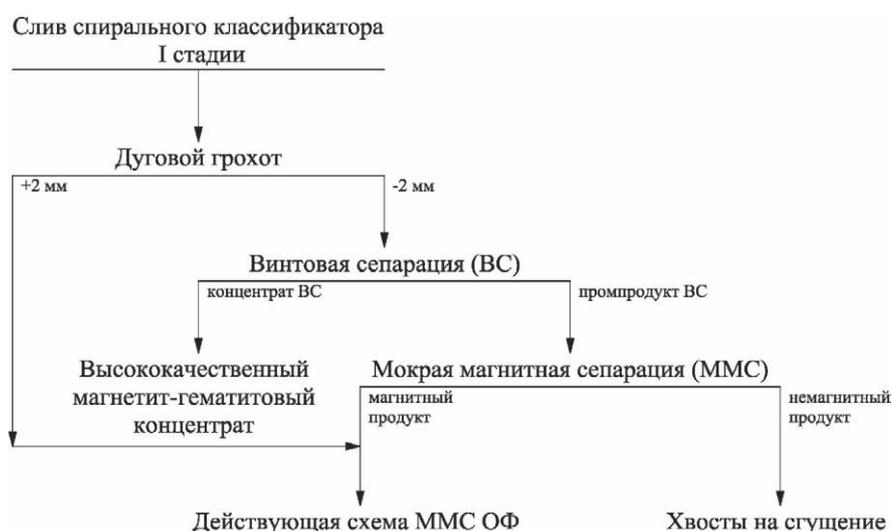


Рис. 4. Технологическая схема лабораторных испытаний
 Fig. 4. Technological scheme of the laboratory tests

минералов. У магнетита и гематита имеется один общий признак разделения – плотность, у магнетита она составляет $4,9\text{--}5,2 \text{ г/см}^3$, у гематита – $4,3\text{--}5,3 \text{ г/см}^3$. У породообразующих минералов, представленных силикатами, кварцем и карбонатами, плотность составляет $1,9\text{--}2,8 \text{ г/см}^3$. Разница в плотности магнетита и гематита, с одной стороны, и породообразующих минералов, с другой стороны, в среднем составляет $2,5 \text{ г/см}^3$. Этот фактор является определяющим при решении вопроса использования гравитационных методов обогащения, в том числе ВС [Прокопьев и др., 2021].

С целью снижения потерь железа с хвостами и повышения качества концентрата, производимого ОФ Стойленского ГОКа, в лаборатории ТПИ ООО НПК «Спирит» изучена

возможность получения высококачественного магнетит-гематитового концентрата методом ВС на начальных стадиях обогащения, т. е. до применения магнитных методов обогащения. Испытания проводились на материале слива спирального классификатора I стадии по схеме, представленной на рис. 4.

Гранулометрическая и химическая характеристики питания винтовой сепарации представлены в табл. 1.

Массовая доля железа в исходном питании винтовой сепарации составила 34,71 %. Распределение ценного компонента по классам крупности однородное. Увеличение массовой доли железа в сравнении с исходным (34,71 %) наблюдается в крупности материала менее 0,25 мм и составляет 38,08 %. Мине-

Таблица 1. Гранулометрическая и химическая характеристики питания винтовой сепарации (подрешетный продукт дугового грохота)

Table 1. Granulometric and chemical characteristics of the spiral separation feed (undersize product of the arc screen)

Класс крупности, мм Size class, mm	Выход, % Output, %	Массовая доля железа, % Mass fraction of iron, %	Распределение железа, % Iron distribution, %
-2 + 1	17,47	29,21	14,70
-1 + 0,5	19,16	31,05	17,15
-0,5 + 0,25	12,81	34,34	12,68
-0,25 + 0,125	9,69	36,80	10,27
-0,125 + 0,071	8,87	41,23	10,54
-0,071 + 0,045	10,47	42,37	12,78
-0,045 + 0,02	7,71	37,28	8,28
-0,02 + 0,0	13,82	34,16	13,60
Итого Total	100,00	34,71	100,00

ральный состав пробы приведен на рис. 5, распределение магнетита и гематита по классам крупности – на рис. 6.

Изучение распределения магнетита и гематита (рис. 6) показало, что основная масса магнетита (56,05 %) концентрируется в материале крупностью от 0,125 до 2 мм, а основная масса гематита (96,76 %) – в материале крупностью менее 0,25 мм. Анализ раскрытия минералов железа (табл. 2 и 3) показал, что раскрытие магнетита и гематита достигается при крупности материала менее 0,125 мм, полное раскрытие наступает при крупности менее 0,071 мм.

Установлено, что нераскрытые зерна магнетита в основном представлены его полиминеральными сростками с кварцем и карбонатами, реже отмечаются бинарные сростки магнетита с кварцем. Сростки гематита также чаще всего представлены полиминеральным типом с кварцем и карбонатами и бинарным с кварцем. Следует отметить, что в материале пробы также присутствуют бинарные и полиминеральные сростки магнетита с гематитом. По качеству сростки минералов железа (магнетита и гематита) в основном представляют собой рядовые, реже бедные сростки и включения.



Рис. 5. Минеральный состав пробы питания винтовой сепарации

Fig. 5. Mineral composition of the spiral separation feed



Рис. 6. Гистограмма распределения магнетита и гематита по классам крупности
 Fig. 6. Histogram of the magnetite and hematite distribution by size classes

Таблица 2. Характер раскрываемости магнетита

Table 2. Features of the magnetite disclosure

Класс крупности, мм Size class, mm	Выход, % Output, %	Магнетит Magnetite						Итого Total
		Своб., % отн. Free, % rel.	Типы сростков, % отн. Types of intergrowths, % rel.					
			Бог., 98 %* High-gr., 98 %*	Ряд., 51 %* Medium-gr., 51 %*	Бедн., 18 %* Low-gr., 18 %*	Вкл., 2,5 %* Incl., 2,5 %*	Полиминеральные и бинарные сростки Mt+Hm Polyminerals and binary intergrowths Mt+Hm	
-2 + 1	17,47	-	-	78,71	15,25	3,35	2,69	100,00
-1 + 0,5	19,16	0,33	9,15	59,18	22,40	7,25	1,69	100,00
-0,5 + 0,25	12,81	2,00	12,63	49,88	12,47	22,19	0,83	100,00
-0,25 + 0,125	9,69	12,86	23,69	21,31	18,09	24,05	-	100,00
-0,125 + 0,071	8,87	89,57	-	-	0,99	9,44	-	100,00
-0,071 + 0,045	10,47	100,00	-	-	-	Ед. зн.	-	100,00
-0,045 + 0,020	7,71	100,00	-	-	-	-	-	100,00
-0,020 + 0,0	13,82	100,00	-	-	-	-	-	100,00

Примечание. Здесь и в табл. 3: * – среднее содержание магнетита в сростке. Своб. – свободные зерна, Бог. – богатые, Ряд. – рядовые, Бедн. – бедные, Вкл. – включения.

Note. Here and in Tab. 3: * – average content in the intergrowth. Free – free grains, High-gr. – high-grade (rich), Medium-gr. – medium-grade, Low-gr. – low-grade, Incl. – inclusions.

Таким образом, можно сделать вывод, что дальнейшее измельчение материала может повлечь за собой значительное переошламование магнетита и особенно гематита, который обладает более тонкой в сравнении с магнетитом крупностью. Перед проведением операций доизмельчения и раскрытия рудных минералов необходимо извлечь свободные зерна магнетита и гематита, а также их богатые сростки в коллективный концентрат. Для достижения этой цели

применена винтовая сепарация, за счет которой массовая доля железа была повышена в 2 раза (до 69,96 %) по сравнению с исходным питанием (питание ВС – 34,71 %). При этом прирост содержания железа наблюдается практически равномерно по всем классам крупности (рис. 7). Минералогическим анализом в концентрате винтовой сепарации установлено повышение содержания магнетита до 92,61 % по сравнению с исходным (содержание магнетита в питании

Таблица 3. Характер раскрываемости гематита

Table 3. Features of the hematite disclosure

Класс крупности, мм Size class, mm	Выход, % Output, %	Гематит Hematite						Итого Total
		Своб., % отн. Free, % rel.	Типы сростков, % отн. Types of intergrowths, % rel.					
			Бог., 98 %* High-gr., 98 %*	Ряд., 51 %* Medium-gr., 51 %*	Бедн., 18 %* Low-gr., 18 %*	Вкл., 2,5 %* Incl., 2,5 %*	Полиминеральные и бинарные сростки Mt+Hm Polymineral and binary intergrowths Mt+Hm	
-2 + 1	17,47	-	-	-	Ед. зн.	2,17	97,83	100,00
-1 + 0,5	19,16	-	-	2,94	2,94	2,94	91,18	100,00
-0,5 + 0,25	12,81	-	-	6,25	12,50	18,75	62,50	100,00
-0,25 + 0,125	9,69	21,88	21,88	12,50	12,50	31,24	-	100,00
-0,125 + 0,071	8,87	96,15	-	-	3,85	-	-	100,00
-0,071 + 0,045	10,47	100,00	-	-	-	-	-	100,00
-0,045 + 0,020	7,71	100,00	-	-	-	-	-	100,00
-0,020 + 0,0	13,82	100,00	-	-	-	-	-	100,00

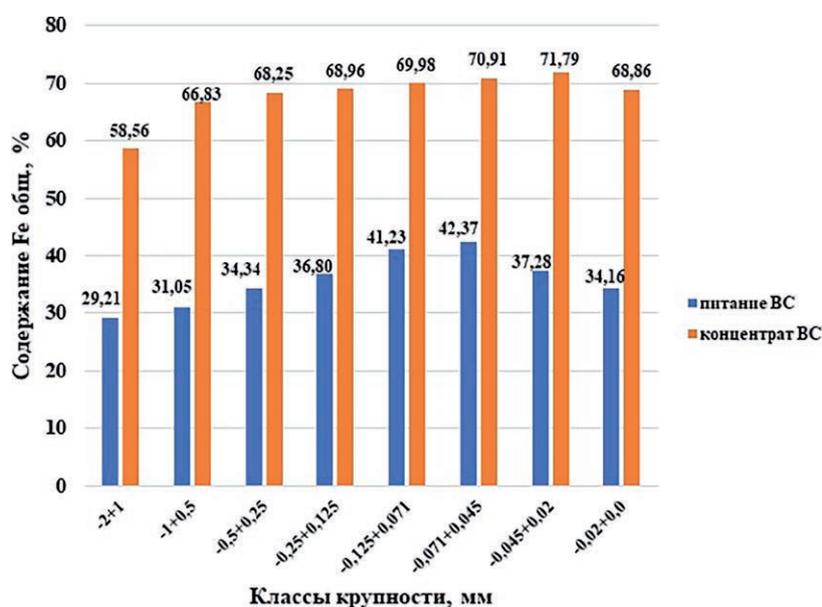


Рис. 7. Сравнительная гистограмма распределения железа по классам крупности в исходном питании и концентрате ВС

Fig. 7. Comparative histogram of the iron distribution by size classes in the feed and spiral separation concentrate

ВС – 43,94 %) и гематита до 4,4 % (содержание гематита в питании ВС – 0,93 %).

Кроме того, в концентрате ВС отмечено пониженное содержание рядовых и бедных сростков рудных минералов, а также включений магнетита в порообразующих минералах, что является очень важным для качества железорудного концентрата, поскольку при проведении магнитной сепарации сростки магнетита с порообразующими минералами, наряду с его свободными зернами, извлекаются в кон-

центрат и разубоживают его. Сростки в основной массе распределяются в промпродукт, который впоследствии может перерабатываться по схеме основного корпуса обогащения ГОКа.

Выводы

Результаты технологических испытаний показали, что при получении высококачественного магнетит-гематитового концентрата методом ВС на начальных стадиях технологи-

ческого процесса обеспечивает общее повышение качества производимого концентрата по содержанию железа в 2 раза (с 34,71 до 69,96 %). Кроме того, выведение из слива спирального классификатора I стадии раскрытых зерен магнетита и гематита позволяет исключить их переошламование и, соответственно, снизить потери железа со шламами, а также способствует уменьшению нагрузки на дальнейшие операции обогащения. При ведении технологических процессов очень важно проводить оперативную оценку качества получаемых продуктов минералогическими методами, так как химические исследования не дают информации о минеральном составе сырья – в частности, не позволяют получить представление о качестве сростков и фазовом распределении железа. Кроме того, небольшое количество железа содержится в некоторых силикатных и карбонатных минералах (до 23,4 % FeO в минералах группы амфиболов, 23,5 % – в анкерите), и, соответственно, их присутствие может увеличивать содержание железа в отвальных продуктах. В этом случае минералогическая оценка поможет обосновать неизбежные потери ценного компонента с хвостами обогащения.

Литература

Башлыкова Т. В., Пахомова Г. А., Ладогов Б. С. Технологические аспекты рационального недропользования: Роль технологической оценки в развитии и управлении минерально-сырьевой базой страны / Науч. ред. Ю. С. Карабасов. М.: МИСиС, 2005. С. 21–37.

References

Bashlykova T. V., Pakhomova G. A., Ladogov B. S. Tekhnologicheskie aspekty ratsional'nogo nedropol'zovaniya: Rol' tekhnologicheskoi otsenki v razviti i upravlenii mineral'no-syr'evoi bazoi strany [Technological aspects of rational subsoil use: The role of technological assessment in the development and management of the country's mineral resource base]. Ed. Yu. S. Karabasov. Moscow: MISiS, 2005. P. 21–37.

Gritsai Yu. L., Pedan M. V., Tokhtuev G. V., Shapovnikov V. A. Geologo-petrograficheskaya otsenka zhelezistykh kvartsitov Krivogo Roga dlya tekhnologicheskikh tselei [Geological and petrographic evaluation of ferruginous quartzites of Krivoy Rog for technological purposes]. Preprint IGFM-74. Kiev, 1974. 52 p.

Zhelezorudnaya baza Rossii [Iron ore base of Russia]. Ed. V. P. Orlov. 2nd ed., rev. exp. Moscow: Geoinformmark, 2007. P. 329–334.

Mineragraficheskoe izuchenie rud: metodicheskie rekomendatsii № 194 [Mineragraphic study of ores: guidelines no. 194]. Nauch. sovet po metodam mineralogicheskikh issled. (NSOMMI) [Sci. Council for Mineralogical Research Methods]. Moscow: VIMS, 2018. 39 p.

Виды и последовательность минералогических исследований при сопровождении технологических работ. Железные руды: методические рекомендации № 181 / Научный совет по методам минералогических исследований (НСОММИ). М.: ВИМС, 2014. 38 с.

Грицай Ю. Л., Педан М. В., Тохтуев Г. В., Шаповников В. А. Геолого-петрографическая оценка железистых кварцитов Кривого Рога для технологических целей // Препринт ИГФМ-74. Киев, 1974. 52 с.

Железорудная база России (изд. 2-е, с доп. и изм.) / Под ред. В. П. Орлова. М.: Геоинформмарк, 2007. С. 329–334.

Минерографическое изучение руд: методические рекомендации № 194 / Научный совет по методам минералогических исследований (НСОММИ). М.: ВИМС, 2018. 39 с.

Пирогов Б. И., Ожогина Е. Г. Принципы и методы технологической минералогии при переработке твердых полезных ископаемых // Вестник геонаук. 2020. № 2. С. 11–14. doi: 10.19110/geov.2020.2.2

Прокопьев С. А. Технология стадийного выделения магнетитового концентрата с помощью винтовой сепарации: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2019. 161 с.

Прокопьев С. А., Прокопьев Е. С., Емельянова К. К., Напольских С. А. Получение высококачественного магнетит-гематитового концентрата методом винтовой сепарации // Горный журнал. 2021. № 6. С. 86–90. doi: 10.17580/gzh.2021.06.07

Целюк Д. И., Жукова В. Е., Ожогина Е. Г., Якушина О. А., Целюк Н. Н. Минералого-технологические особенности хвостов мокрой магнитной сепарации железных руд и перспективы извлечения из них железа // Журнал СФУ. Техника и технологии. 2013. № 4. С. 412–424.

Поступила в редакцию 21.09.2021

Pirogov B. I., Ozhogina E. G. Printsipy i metody tekhnologicheskoi mineralogii pri pererabotke tverdykh poleznykh iskopaemykh [Principles and methods of technological mineralogy in the processing of solid minerals]. *Vestnik geonauk* [Bull. Geosciences]. 2020. No. 2. P. 11–14. doi: 10.19110/geov.2020.2.2

Prokop'ev S. A. Tekhnologiya stadial'nogo vydeleniya magnetitovogo kontsentrata s pomoshch'yu vintovoi separatsii [Technology of staged magnetite concentrate separation using spiral separation]: Summary of PhD (Cand. of Tech.) thesis. Ekaterinburg, 2019. 161 p.

Prokop'ev S. A., Prokop'ev E. S., Emel'yanova K. K., Napol'skikh S. A. Poluchenie vysokokachestvennogo magnetit-gematitovogo kontsentrata metodom vintovoi separatsii [High-quality magnetite-hematite concentrate production by the spiral separation]. *Gornyi zhurn.* [Mining J.]. 2021. No. 6. P. 86–90.

Tseliuk D. I., Zhukova V. E., Ozhogina E. G., Yakushina O. A., Tseliuk N. N. Mineralogo-tekhnologicheskie osobennosti khvostov mokroi magnitnoi separatsii zheleznykh rud i perspektivy izvlecheniya iz nikh zheleza [Mineralogical and technological features of the iron

ores wet magnetic separation tailings and the prospects for extracting iron from them]. *Zhurn. SFU. Tekhnika i tekhnol.* [J. Siberian Fed. Univ. Engineering & Technol.]. 2013. No. 4. P. 412–424.

Vidy i posledovatel'nost' mineralogicheskikh issledovaniy pri soprovozhdenii tekhnologicheskikh rabot. *Zheleznye rudy: metodicheskie rekomendatsii № 181*

[Types and sequence of mineralogical studies accompanied by technological work. Iron ores: guidelines no. 181]. *Nauch. sovet po metodam mineralogicheskikh issled. (NSOMMI)* [Sci. Council for Mineralogical Research Methods]. Moscow: VIMS, 2014. 38 p.

Received September 21, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Чикишева Татьяна Александровна

руководитель минералогической группы
ООО НПК «Спирит»
ул. Лермонтова, 128, корп. 2, оф. 305, Иркутск,
Россия, 664033

старший преподаватель кафедры полезных ископаемых
Иркутский государственный университет
ул. К. Маркса, 1, Иркутск, Россия, 664003

инженер отдела комплексного использования
минерального сырья
Институт земной коры СО РАН
ул. Лермонтова, 128, Иркутск, Россия, 664033
эл. почта: cta@spirit-irk.ru
тел.: (3952) 243280, (3952) 428562

Емельянова Ксения Константиновна

инженер-обогадитель
ООО НПК «Спирит»
ул. Лермонтова, 128, корп. 2, оф. 305, Иркутск,
Россия, 664033
эл. почта: ekk@spirit-irk.ru
тел.: +79086568644

Прокопьев Сергей Амперович

начальник отдела комплексного использования
минерального сырья, к. т. н.
Институт земной коры СО РАН
ул. Лермонтова, 128, Иркутск, Россия, 664033

председатель совета директоров
ООО НПК «Спирит»
ул. Лермонтова, 128, корп. 2, оф. 305, Иркутск,
Россия, 664033
эл. почта: psa@spirit-irk.ru
тел.: +79148892931

Прокопьев Евгений Сергеевич

директор по технологиям и инновациям
ООО НПК «Спирит»
ул. Лермонтова, 128, корп. 2, оф. 305, Иркутск,
Россия, 664033

инженер отдела комплексного использования
минерального сырья,
Институт земной коры СО РАН
ул. Лермонтова, 128, Иркутск, Россия, 664033
эл. почта: pes@spirit-irk.ru
тел.: +79149318317

Турецкая Нина Юрьевна

руководитель группы обогащения черных металлов
ООО НПК «Спирит»
ул. Лермонтова, 128, корп. 2, оф. 305, Иркутск,
Россия, 664033
эл. почта: tny@spirit-irk.ru
тел.: (3952) 243280

CONTRIBUTORS:

Chikisheva, Tatiana

LLC Research and Production Company Spirit
128 Lermontov St., 664033 Irkutsk, Russia

Irkutsk State University
1 K. Marx St., Irkutsk, 664003 Irkutsk, Russia

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences
128 Lermontov St., 664033 Irkutsk, Russia
e-mail: cta@spirit-irk.ru
tel.: (3952) 243280, (3952) 428562

Emelyanova, Kseniya

LLC Research and Production Company Spirit
128 Lermontov St., 664033 Irkutsk, Russia
e-mail: ekk@spirit-irk.ru
tel.: +79086568644

Prokopiev, Sergey

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences
128 Lermontov St., 664033 Irkutsk, Russia

LLC Research and Production Company Spirit
128 Lermontov St., 664033 Irkutsk, Russia
e-mail: psa@spirit-irk.ru
tel.: +79148892931

Prokopiev, Evgenii

LLC Research and Production Company Spirit
128 Lermontov St., 664033 Irkutsk, Russia

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences
128 Lermontov St., 664033 Irkutsk, Russia
e-mail: pes@spirit-irk.ru
tel.: +79149318317

Turetskaya, Nina

LLC Research and Production Company Spirit
128 Lermontov St., 664033 Irkutsk, Russia
e-mail: tny@spirit-irk.ru
tel.: (3952) 243280

Калинкин Илья Александрович

руководитель группы проектирования, регламентов
и аналитики горно-обогатительных производств
ООО НПК «Спирит»
ул. Лермонтова, 128, корп. 2, оф. 305, Иркутск,
Россия, 664033
эл. почта: kia@spirit-irk.ru
тел.: (3952) 243280

Напольских Сергей Александрович

генеральный директор
АО «Стойленский ГОК»
площадка Фабричная, пр-д 4, Старый Оскол,
Белгородская область, Россия, 309504
эл. почта: info.sgok@nlmk.com
тел.: (4725) 449435

Kalinkin, Ilya

LLC Research and Production Company Spirit
128 Lermontov St., 664033 Irkutsk, Russia
e-mail: kia@spirit-irk.ru
tel.: (3952) 243280

Napolskikh, Sergey

Stoilensky Mining and Processing Plant
4 Fabrichny Proezd, 309504 Stary Oskol,
Belgorod Region, Russia
e-mail: info.sgok@nlmk.com
tel.: (4725) 449435